

CARACTERIZACIÓN DE UN COLECTOR SOLAR DE DE PLACA PLANA DISEÑO PARA LA REGENERACION DE SILICAGEL DE UNA PLANTA PILOTO DE CLIMATIZACIÓN SOLAR-GEOTERMICA

A. Busso, R. Spotorno, J. Pochettino, F. Benitez

GITEA - Grupo de Investigación en Tecnologías Energéticas Apropriadadas

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Resistencia

French 414. 3500 Resistencia-Chaco. República Argentina

Tel: +54 3722 432928. / Fax: +54 3722 432683/ e.mail: ifbenitez@infovia.com.ar

RESUMEN: Se presentan los resultados de la caracterización del colector solar plano utilizado en una planta piloto de climatización solar-geotérmica por ciclo de Adsorción-Humidificación. El colector de 18 m² de área calienta el aire de proceso utilizado en la etapa de regeneración de la Silica gel. El mismo fue diseñado y modelado usando TRNSYS para lograr temperaturas de trabajo entre los 75–85 °C a fin de garantizar energía suficiente para regenerar los 30 Kg. de Silica gel de las camas de adsorción. A partir de la determinación experimental de la curva rendimiento se estimaron el factor de remoción de calor, $F'_R = 0.3$, y el coeficiente global de pérdidas, $U_L = \sim 6.01 \text{ W/m}^2\text{°C}$. A pesar de utilizar un caudal un 24% mayor al de diseño, las mayores temperaturas de salida de aire del colector respecto a las predichas por la simulación en la etapa de diseño se deben a una subestimación en los parámetros térmicos y ópticos utilizados. Los resultados experimentales se correlacionan con las suposiciones de trabajo empleadas durante la etapa de diseño y permiten concluir que el sistema se comporta de acuerdo a lo esperado superando temperaturas de 90°C para una irradiancia de 900 W/m².

Palabras clave: climatización solar, regeneración de Silica gel, colector solar plano

INTRODUCCIÓN

La región Nordeste de la República Argentina se caracteriza por las altas temperaturas y humedades que hacen del aire acondicionado (AC) una necesidad para el confort humano. Por otro lado, la utilización de energía solar para propósitos de refrigeración toma ventaja de la correlación existente entre la alta radiación solar y la alta demanda de energía para refrigeración. Es más, también minimizaría costos de funcionamiento, reduciría los efectos en la red de distribución, minimizaría la necesidad de almacenamiento de energía que normalmente acompaña los sistemas solares y evitaría el uso de refrigerantes CFC.

Kluppel y Casanova (1996), determinaron para el clima caliente y húmedo de Joao Pessoa-Brasil que una temperatura de 24°C y RH de 60% puede ser mantenida por climatización solar con un área de colectores del orden del 20% de la superficie total del espacio a climatizar. En Hampton, Virginia, las pruebas de eficacia realizadas en una casa solar indican que el sistema solar puede proporcionar 57% de la calefacción y refrigeración necesaria anualmente y en Japón, las experiencias sobre calefacción y refrigeración solar realizadas en una casa solar mostraron que el sistema solar puede satisfacer el 100% de las necesidades de energía calorífica durante invierno y el 70% de demanda de energía para la refrigeración en un día de verano típico (Yeung et al. 1992). Shiran et al. (1981), usando simulación por computadoras, demostró que para las condiciones climáticas de Israel la radiación solar colectada por el área cubierta por el espacio a refrigerar puede satisfacer el 80% de la demanda en calefacción y refrigeración. En el centro tecnológico de Riesa, Alemania, se instaló un sistema experimental de climatización por adsorción-humidificación en una aula para 60 personas y un volumen de 330 m³. El sistema comprende 20 m² de colectores de placa plana, un ciclo que opera en modo de ventilación y un tanque de almacenamiento de agua caliente de 2 m³. Este sistema ha demostrado la viabilidad de la climatización solar en Europa central pero no para todas las condiciones climáticas (Henning et al, 1997).

El presente trabajo brevemente expone el dimensionamiento del colector solar de placa plana utilizado para calentar el aire de proceso de la etapa de regeneración del Silica gel en la planta piloto de climatización solar por ciclo de Adsorción-Humidificación construida para climatizar la oficina de 16 m² del Grupo de Investigación en Tecnologías Energéticas Apropriadadas (G.I.T.E.A), en la ciudad de Resistencia, Chaco. Así mismo, se presenta la curva de eficiencia obtenida experimentalmente y se compara el comportamiento del colector con lo predicho durante la etapa de diseño por las corridas de simulación con TRNSYS.

DIMENSIONAMIENTO DEL COLECTOR SOLAR

El diseño del colector solar que se utilizaría para la regeneración de Silica Gel en la planta piloto de climatización solar se basó en un estudio previo tanto teórico como experimental, realizado con un colector solar calentador de aire de 2 m² de área existente en el laboratorio (G.I.T.E.A, 2003). Los resultados experimentales mostraron que era posible obtener temperaturas de aire superior a 85°C necesarias para la regeneración, habiendo tomado entre 3–4 hs la regeneración de un cartucho de 6 Kg. de Silica Gel. Basados en estos resultados, en la Planta Piloto se utilizó la misma configuración de colector pero se adaptó el área para satisfacer los nuevos requerimientos de regeneración que imponían las dimensiones del local a climatizar.

El dimensionamiento del nuevo colector se llevó a cabo mediante simulación utilizando el módulo de colector solar incluido en TRNSYS (TYPE 1), configurado para trabajar en modo 3. En este modo, el modelo matemático es el de un colector de placa plana similar a la configuración a implementarse en la práctica. Los parámetros térmicos y ópticos requeridos fueron los mismos utilizados en el estudio anterior. La orientación del colector se tomó Este-Oeste (la correspondiente al techo sobre el cual sería instalado) y con una pendiente de 5°. Los datos climáticos utilizados durante las corridas (temperatura ambiente, velocidad de viento, radiación solar) son datos obtenidos de la NASA a través del programa RETScreen y se corresponden a la región geográfica centrada en Latitud: -27.5° Longitud: -58.5°, región que incluye a la ciudad de Resistencia.

La Fig. 1 muestra el esquema de módulos del circuito de simulación y su relación funcional.

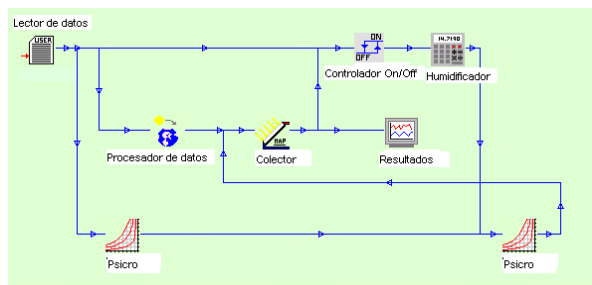


Figura 1. Esquema de módulos del circuito de simulación

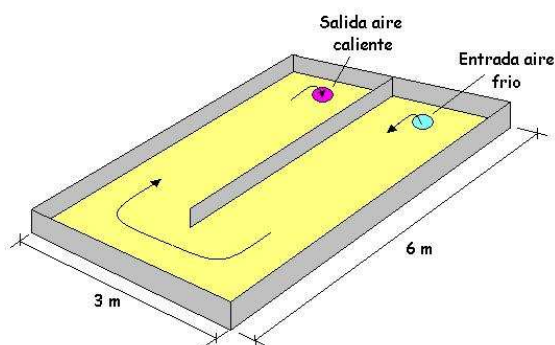


Figura 2.- Esquema de circulación de la corriente de aire en el interior del colector

Complementando este estudio, se analizó el comportamiento del proceso de regeneración a circuito cerrado realizando corridas de simulación con incorporación de humedad a velocidad constante. El ritmo de incorporación de humedad y caudal fueron fijados a valores que reproduzcan las condiciones de trabajo de la planta piloto.

Bajo estas condiciones, se estableció que un colector de 18 m² de área total, compuesto por dos colectores en serie de 1.5x6 m., con un alto de canal de circulación de 0.05 m y caudal másico de aire de 380 Kg/h sería suficiente para alcanzar temperatura de regeneración entre 75°C y 85°C y suministrar la energía suficiente para regenerar en aproximadamente 3-4 hs. un cartucho de 30 kg. de Silica Gel. La Fig. 2 muestra la circulación de la corriente de aire en el interior del colector y la Fig. 3 los resultados de la simulación. La curva en trazo rojo muestra la temperatura de salida del colector obtenida para el mes de enero. Se puede observar que, para condiciones climáticas favorables, la misma oscila entre los 75 y 85 °C durante las horas del día de mayor insolación, rango de temperaturas considerado adecuado para permitir la regeneración del cartucho.

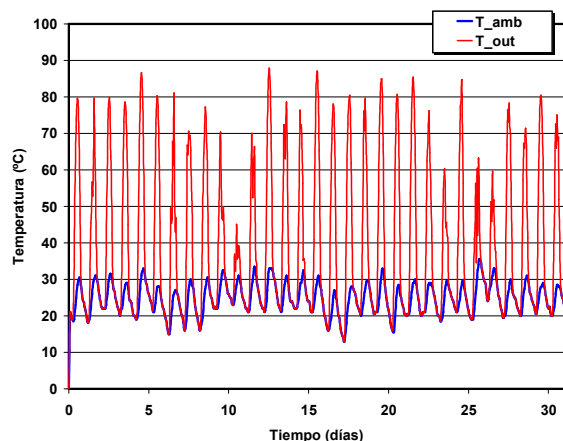


Figura 3.- Resultados de la simulación del colector para el mes de enero

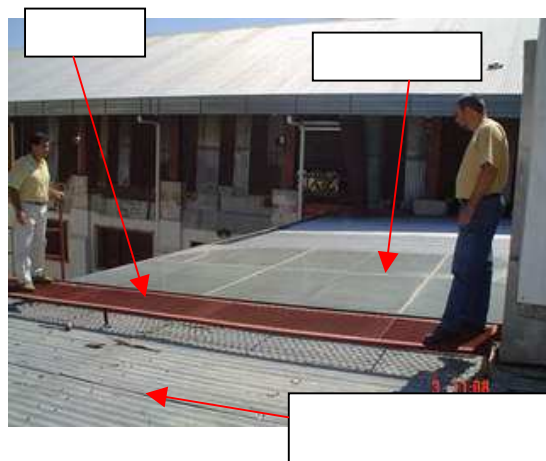


Figura 4.- Vista del colector y pasarela de acceso

CONSTRUCCIÓN DEL COLECTOR SOLAR

El colector se construyó según las especificaciones técnicas de diseño que surgieron de las modelizaciones. El marco se realizó de chapa N° 18 plegada convenientemente a fin de proporcionar rigidez y soporte a la cubierta y placa colectora.

Como superficie colectora se empleó chapa galvanizada ondulada N° 27, la cual fue limpiada y pintada con esmalte sintético negro mate comercial. Debido a que el colector iría montado sobre el techo de un garaje lindero a la habitación

a climatizar, como base de cierre posterior del mismo se aprovecho la chapa galvanizada del mismo techo de montaje. A fin de reducir pérdidas térmicas posteriores, esto es, hacia el interior del garaje, se realizó un aislamiento de 0.025 m de espesor de espuma de poliuretano cubriendo toda la superficie interior del techo. Como cubierta transparente se utilizó vidrio tipo float comercial para ventana de 0.005 m. de espesor. En la Fig.4 se observa la vista del colector terminado y la pasarela de acceso construida para permitir su limpieza o reparación cuando así se necesite.

RESULTADOS EXPERIMENTALES

Durante las corridas experimentales se trabajo con el colector en vacío, es decir, sin el cilindro que contiene el Silica gel, con lo que no se tiene en cuenta la pérdida de carga que producida por este. Bajo estas condiciones se registró un caudal de 472 kg/h. El mismo se calculó a partir de la velocidad media de la corriente de aire determinada a partir de un mapeo de velocidades realizado en una sección de conducto convenientemente seleccionada por uniformidad y posición tal de asegurar un flujo turbulento completamente desarrollado. En las mediciones se empleo un anemómetro de aire caliente marca Lutron AM-4204 con una resolución de 0.1 m/s para la escala de operación utilizada. Se debe aclarar que el caudal es mayor al de diseño debido a que las mediciones se hicieron sin el cartucho de Silica Gel en su lugar evitandose la pérdida de carga que esta produciría. Como sensores de temperatura se emplean termocúplis tipo K conectadas a un módulo adquisidor de datos NUDAM. El registro de datos se realizó en forma automática por una PC a intervalos de 20 seg. La Fig.5 muestra las curvas de temperatura ambiente, de entrada y salida del colector para el 12 de enero de 2006. Se puede observar que a pesar lo parcialmente nublado del día, las temperaturas alcanzadas superan lo predicho por la simulación. El hecho de obtener mayores temperaturas experimentales siendo que el caudal de trabajo es un 24% mayor que el de diseño, puede deberse, entre otras cosas, a una subestimación en los parámetros térmicos y ópticos utilizados en la simulación además del empleo de valores de radiación solar y temperatura ambiente que fueron estimados a partir de datos satelitales. Si así fuere el caso esto quedaría demostrado una vez caracterizado el colector.

Para el relevamiento de la curva de eficiencia se siguió el procedimiento estándar de ensayo encontrado en la literatura (Duffie & Beckman, 1991). Los ensayos se realizaron en días claros entre las 11:30 a 13:30 hs. aproximadamente. La temperatura del aire de entrada al colector se varió desde temperatura ambiente a incrementos de $\sim 10^\circ\text{C}$ hasta que la diferencia de temperatura entre la entrada y la salida del aire en el colector no experimentaba diferencias apreciables. Los datos tomados para levantar la curva fueron seleccionados de archivos correspondientes a 6 días de mediciones, cuidando que las condiciones ambientes sean las apropiadas (día claro y con poco o nada de viento). La Figura 6 muestra los resultados obtenidos junto con la ecuación de la curva de ajuste. Para la confección de la curva se seleccionaron puntos para los cuales los valores de radiación solar estén alrededor 700 W/m^2 . No obstante ello, se observa en la figura una dispersión en los puntos experimentales que puede deberse a las desviaciones presentes del valor medio de radiación solar antes mencionado. Además, con el objeto de realizar mediciones con el sistema en estado lo mas cercano al estacionario posible, los puntos de la Fig.6 corresponden a mediciones espaciadas 15 min. luego de cada variación en la temperatura del aire de entrada.

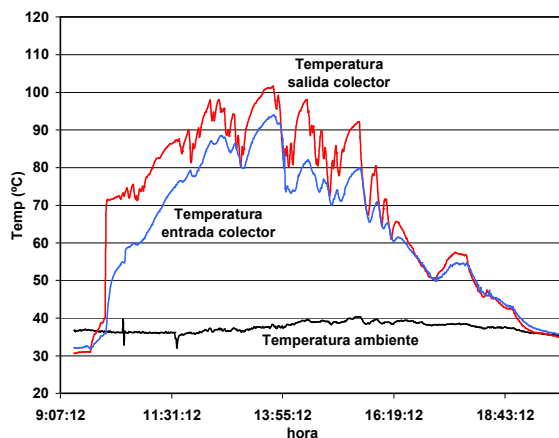


Figura 5.- Comportamiento del colector solar para un día de enero

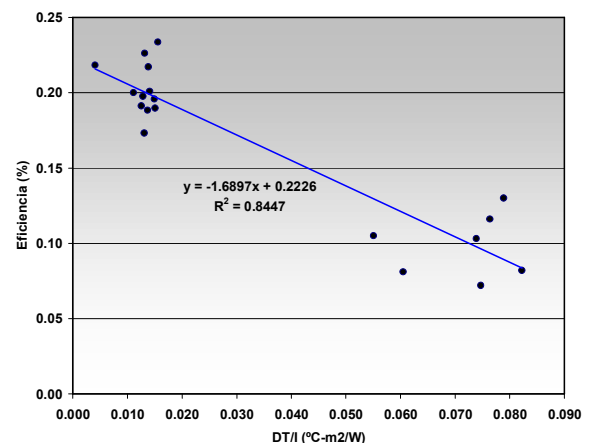


Figura 6.- Curva de eficiencia del colector

Conociendo el valor del $\tau\alpha$ para el tipo de vidrio usado como cubierta y de placa absorbadora, el valor del factor de remoción de calor F_R y del coeficiente global de pérdida del colector U_L , pueden determinarse relacionando la ec[1] para la eficiencia del colector (Duffie & Beckman, 1991) con la curva de ajuste obtenida en la Fig.6.

$$\eta = F_R(\tau\alpha) - F_R U_L \left(\frac{T_i - T_a}{G_T} \right) \quad [1]$$

De esta forma, con $(\tau\alpha) = 0.8$ se obtiene:

$$F_R = 0.3$$

$$U_L = \sim 6.01\text{ W/m}^2\text{°C}$$

Con estos parámetros se realizaron nuevas corridas de simulación a fin de comparar variaciones en el comportamiento respecto a las corridas de diseño y su correlación con los datos experimentales. La Fig.7 muestra los resultados obtenidos y en la Fig.8 se presenta una comparación de los resultados de simulación antes y después de la caracterización del colector. De las curvas se aprecia que la utilización de los parámetros deducidos de la caracterización mejora el rango de temperaturas de trabajo sustancialmente superando en algunos casos los 100 °C. Este comportamiento esta en concordancia con las temperaturas alcanzadas experimentalmente (Fig.5).

La Fig.8 demuestra además que el hecho experimental observado de obtener mayores temperaturas que las de diseño con un caudal de trabajo un 24% mayor, queda explicado en términos de una subestimación en los parámetros térmicos y ópticos utilizados en la simulación como había sido propuesto en párrafos anteriores.

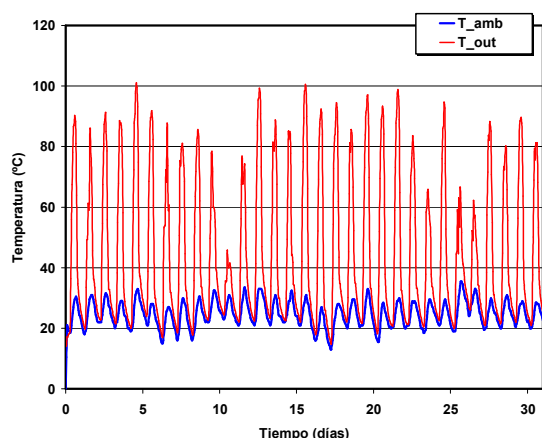


Figura 7.- Simulación del colector utilizando parámetros determinados a partir de la curva de eficiencia

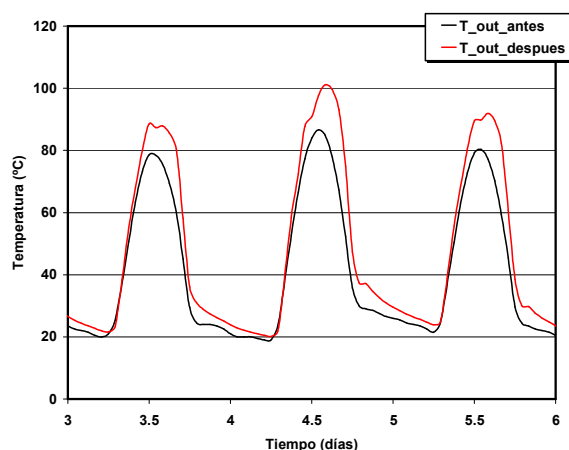


Figura 8.- Comparación entre las temperatura simulada de salida del aire antes y después de la caracterización del colector.

CONCLUSIONES

De los estudios realizados se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- Basados en resultados de un estudio experimental anterior con un colector de menor tamaño pero de similares características constructivas y asistidos por simulaciones con TRNSYS, se determinó la configuración y dimensiones de un colector solar de placa plana adecuado a los requerimientos de regeneración de silica gel necesarios en la planta piloto.
- Según el diseño el rango esperado de temperaturas de trabajo sería de entre 75 °C y 85 °C.
- A pesar de trabajar con un caudal un 24% mayor al de diseño, las corridas experimentales mostraron la capacidad de alcanzar temperaturas de aire de salida del colector superiores a ese rango, en algunos casos de hasta 100 °C. Este hecho experiemntal se explica como debido a una subestimación en los parámetros térmicos y ópticos utilizados en la simulación durante la etapa de diseño como queda demostrado mediante resultados de simulación luego de la caracterización del colector.
- A partir de la determinación experimental de la curva de eficiencia del colector y del producto $\tau\alpha$ adecuado al tipo de cubierta y placa empleados, se caracterizó al colector determinandose el valor del factor de remoción de calor $F_R = 0.3$ y del coeficiente global de pérdidas $U_L = \sim 6.01 \text{ W/m}^2\text{°C}$.
- La utilización de estos valores en nuevas corridas de simulación muestra que le rango de temperaturas de trabajo mejora sustancialmente y concuerda con los resultados experimentales situandose entre los 85 °C y 100 °C.

A pesar de no haberse realizado corridas de regeneración controladas, lo expuesto permite asumir que el colector se comporta mejor que lo esperado a partir del diseño y por lo tanto debería satisfacer las necesidades de regeneración de la planta piloto.

REFERENCIAS

- G.I.T.E.A. (2003). Informe interno de avance proyecto de Climatización Solar.
- Duffie J. A. y Beckman W. A. (1991) *Solar Engineering of Thermal Processes*, 2a. edición, pp 251-328. Wiley Interscience, New York.
- Henning H.M., Erpenbeck T., Hindenburg C., (1997). Sorptiongestutzte Klimatisierung mit Solarenergie, en Workshop "Solar Sorptive cooling", pp. 147-157, Stuttgart, Alemania.

Kluppel R. P. y Casanovas D. S. (1995) Open cycle solar air conditioning using solid desiccants. Trabajo presentado en la XVIII Reunión de Trabajo de ASADES, San Luis, Argentina.

Perry J. H. (1958) *Manual del Ingeniero Químico*, 3^a edición, pp 1370-1381 . Mc Graw Hill, Mexico.

Shiran Y., Shitzer A. y Degani D. (1981) Computerized desing and economic evaluation of an aqua-ammonia solar operated absortion system. *Solar Energy* 29, 1, 43-54.

Yeung M. R., Yuen P. K. y Cornish L. S. (1992) Perfomance of a solar-powered air conditioning system in Hong Kong. *Solar Energy* 48, 5, 309-319.

Zhang L. Z., Wang L., (1997) Performance Estimation of en Adsorption Cooling System for Automobile Waste Heat Recovery, *Applied Thermal Engineering*, Vol. 17, N° 12, pp. 1127-1139., New York.

Curso de Energía Solar (Proyectist-Instalador), CENSOLAR (Centro de Estudios de la Energía Solar), Sevilla (España).

ABSTRACT: The characterization results of a flat plate solar collector used in an air conditioning pilot plant based on an adsorption-humidificación cycle using Silica Gel beds are presented herein. A solar collector of 18 m² of area provides the heat for Silica Gel regeneration. The collector was design using TRNSYS in order to assure enough energy to regenerate 30 kg of Silica Gel at temperatures between 75 to 85 °C. Values for the heat removal factor, $F'_R = 0.3$, and for the overall heat loss coefficient, $U_L = \sim 6.01 \text{ W/m}^2\text{°C}$, were estimated from the efficiency curve determined experimentally. The obtained experimental temperatures were higher than the predicted from simulation design step. This finding could be explained because optical and thermal were initially over estimated. As conclusion, the experimental results correlate well with working assumptions used during the design phase with outlet air temperatures above 90°C for irradiances of 900 W/m².

Key words: Flat plate solar air collector, solar climatization, silica gel, adsorptión